

◆ 특집 ◆ 직선 · 회전모터 구동 이송 · 회전체 연구 VIII

솔리드 타이어 제조를 위한 스프링 벤트 시스템의 적용

Application of Spring Vent System for the Manufacturing of Solid Tire

손종남¹, 정영철¹, 조영태^{2,✉}, 정윤교²
Jong Nam Son¹, Young Cheol Jeong¹, Young Tae Cho^{2,✉}, and Yoon Gyo Jung²

1 창원대학교 대학원 기계공학전공 (Graduate School of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.)

2 창원대학교 기계공학부 (Department of Mechanical Engineering, Changwon National Univ.)

✉ Corresponding author: ytcho@changwon.ac.kr, Tel: +82-55-213-3608

Manuscript received: 2014.6.13 / Revised: 2014.7.11 / Accepted: 2014.7.21

Manufacturing processes of industrial tire are composed of mixing, extrusion, curing, trimming and inspecting. Among them curing is the most important process in the production of industrial tire. In this study the newly developed spring vent system was designed in order to solve rubber intrusion problem inside spring vent system in the curing process. After the experiment it is concluded that rubber intrusion was caused by angled stem head part. New spring vent system was manufactured and new design of spring vent system is proper to use for industrial tire curing process.

Key Words: Spring Vent (스프링 벤트), Industrial Tire (산업용 타이어), Tire Mold (타이어 금형), Curing Process (가황공정)

1. 서론

지게차나 크레인과 같은 산업용 차량에 적용되는 타이어를 산업용 타이어라고 한다. 산업용 타이어의 경우 일반 공기용 타이어에 비해 악조건에서 사용된다. 산업용 타이어는 노면 상태가 좋지 못한 도로나 현장에서 무사히 주행을 할 수 있어야 하며, 차량과 적재물의 하중을 견딜 수 있어야 한다. 또한 트레드가 마모에 강건해야 하고, 차량의 탑승자에게 편안한 승차감을 느낄 수 있는 쿠션기능이 있어야 하며, 타이어 내부에서 발생하는 열을 밖으로 내보내는 발열성도 고려되어야 한다. 이와 같이 산업용 타이어는 산업용 차량의 중

요한 역할을 하는 부품 중 하나이다.

산업용 차량이 발전하듯이 산업용 타이어 역시 발전을 해왔다. 지속적으로 타이어 구조와 재료 등이 개선되고 있고, 이와 관련한 여러 연구가 진행되고 있다.¹⁻⁴ 타이어 성능 개선과 더불어 타이어 생산성 향상에도 많은 발전이 이루어지고 있다. 산업용 타이어의 경우 내부에 공기가 아닌 고무로만 채워져 있어 가황시간이 일반 타이어에 비해 길어 생산에 불리한 측면도 있다. 그리하여 제조 시간 단축, 공정의 자동화 등이 요구되어진다.

산업용 타이어는 여러 공정을 거쳐 생산이 되는데 그 중에서 가장 중요한 공정 중 하나가 가황 공정이다. 가황이란 황이 첨가된 생고무에 고온과

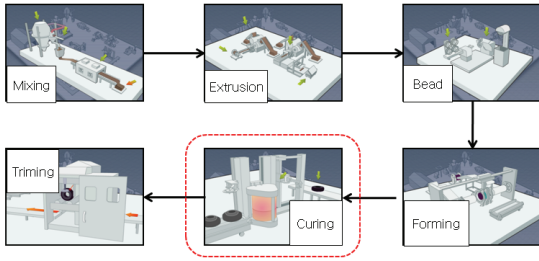


Fig. 1 Manufacturing processes of industrial tire

고압을 가해 고무에 첨가된 황이 화학 작용을 일으키는 과정을 말한다. 가황이 일어나기 전 타이어 고무는 손으로 끊어 낼 수 있는 정도의 인장 강도를 지닌 고무 상태의 타이어를 그린 타이어라고 하며 가황이 된 완제품 타이어 고무의 경우 가황되기 전보다 훨씬 강한 인장 강도를 지니게 된다.⁵

산업용 타이어는 가황이 된 고무 상태로 비압축성 초 탄성의 특성을 지닌 고무와 여러 가지 약품 그리고 코드지 등의 물리적으로 상이한 특성을 가진 재료로 구성된 복합체로 구성되어 있으며, 비선형 변형을 일으키는 복잡한 구조물이다.⁶

산업용 타이어의 제조 공정은 Fig. 1에서와 같이 이루어진다. 먼저 정련공정에서 생고무와 여러 가지 약품을 배합하여 물을 통과 시켜 배합물을 시트형태로 만드는 압출 공정과 비드 공정을 거친 후 그린타이어를 만드는 성형 공정이 진행 된다. 그린타이어를 금형 내부에 투입하여 고온과 고열을 가하여 원하는 형상과 물성으로 변화시키는 가황 공정과 마지막으로 트리밍 및 검사 공정을 거쳐 완제품 타이어가 생산이 된다.

2. 스프링 벤트의 적용

일반적으로 타이어 가황 공정에서 금형 내부에 그린타이어를 투입한 후 금형에 압력이 가해지면서 금형과 그린타이어 사이에 있는 공기가 배출되도록 하는 벤트홀이 금형에 존재한다.

하지만 공기만 빠져 나오는 것이 아니라 고무도 배출이 되므로 이를 제거하기 위한 추가 공정이 필요하게 된다. 이렇게 불필요하게 배출되는 고무를 없애기 위해 공기만 배출되고 고무는 배출되지 않도록 하는 스프링 벤트를 금형 내부에 설치하여 고무 팁 발생을 막을 수 있다.

일반 타이어 스프링 벤트 구조를 살펴 보면 Fig. 2와 같이 세 부분으로 나눌 수 있다. 고무 배

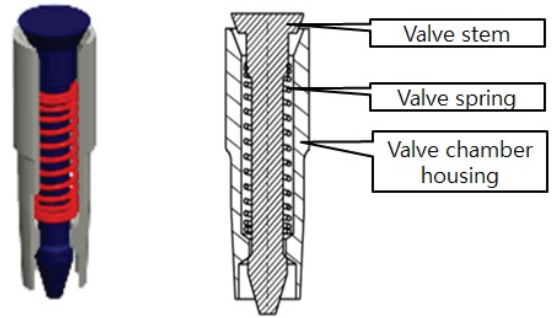


Fig. 2 Schematic diagram of spring vent and the name of each part



Fig. 3 Experimental equipment and sequence

Table 1 Experimental conditions for pneumatic tire spring vent

Items	Conditions
Pressure	Min 5 MPa
Curing time	60 min
Vent hole	200 EA
Spring vent Dia	3 mm
Material	Green Tire

출을 막는 역할을 하는 밸브 스템, 밸브 스템을 상하로 움직일 수 있도록 탄성을 부여하는 밸브 스프링 그리고 이 두 가지 부품을 감싸면서 금형에 장착될 수 있도록 하는 밸브 챔버 하우스로 나누어진다.

일반 타이어 스프링 벤트를 산업용 타이어 금형에 설치한 후 실험을 수행하였다. Fig. 3과 같은 순서로 금형 내부에 있는 기존의 벤트홀을 드릴링 가공하여 스프링 벤트를 억지 끼움으로 설치하고 그린타이어를 금형에 넣은 후 가황공정을 진행 하였다.

실험 조건은 Table 1과 같다. 일반 타이어 제조 공정과는 달리 압력이 최소 5 MPa 이상이고 가압 경화 시간이 60분 정도로 매우 길다.

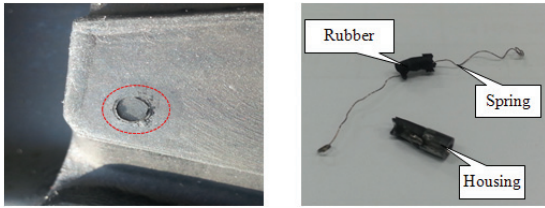


Fig. 4 Result of experimental with pneumatic tire spring vent

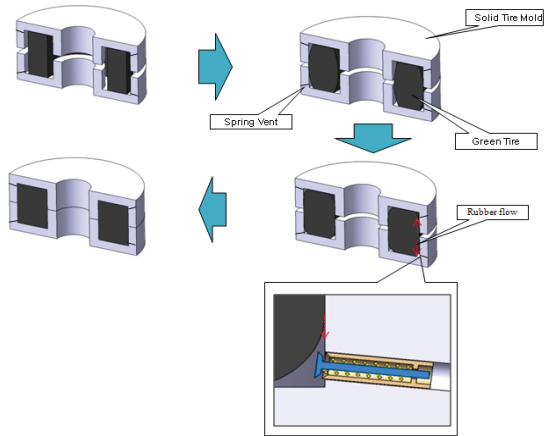


Fig. 5 Green tire flow prediction in curing mold

공정이 완료된 후 완성된 산업용 타이어를 금형 외부로 꺼내 외관을 확인하고 스프링 벤트의 작동 유무를 확인하는 순으로 실험을 수행하였다.

실험 결과 Fig. 4의 빨간색 동그라미로 표시한 부분과 같이 산업용 타이어 외관은 문제가 없으나, 금형 내부의 고온 고압으로 인해 스프링 벤트 내부로 그린타이어 고무가 유입되는 문제점이 발생하였다. 고무가 스프링 벤트 내부로 유입이 되면서 스프링이 작동되지 않았고, 첫 번째 실험에서 모든 스프링 벤트의 내부로 고무가 흘러 들어가는 문제점이 발생하여 일반 타이어와 산업용 타이어 생산방식이 다르다는 점에서 스프링 벤트의 구조와 작동 방식에 문제가 있다고 판단하였다.

이러한 문제점의 원인을 분석하기 위해 고무의 유동을 정성적으로 예측해 보면 그린타이어가 금형 상하로 압력을 받아 Fig. 5와 같이 고무의 유동이 금형캐비티면을 따라 아래 방향으로 발생하기 때문에 스템 헤드부와 하우스 사이로 고무가 유입될 수 있다고 판단되었다.

그린 타이어의 거동을 확인 하기 위해 상용 해석 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 시뮬레이션을

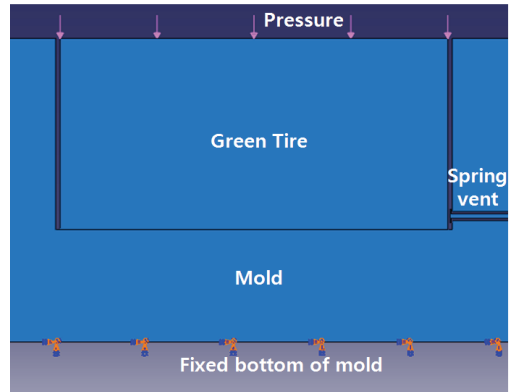
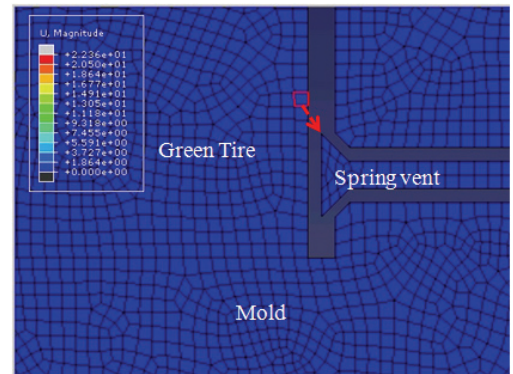
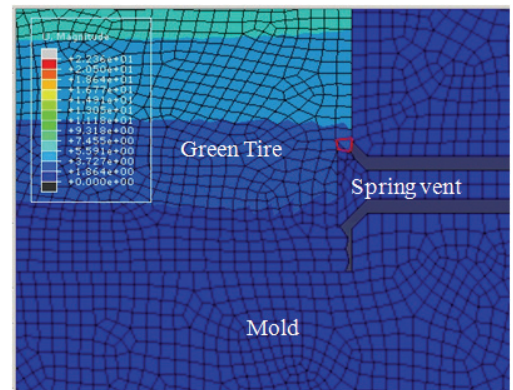


Fig. 6 Schematic diagram for analysis



(a) Initial step



(b) After pressing

Fig. 7 Analysis result of green tire with pneumatic tire spring vent

실시 하였다. 그린타이어의 Young's Modulus는 1.546 MPa, Poisson's Ratio는 0.49이다.³ 실제 공정에서는 가압과 가열이 동시에 이루어지기 때문에 구조해석을 통한 완벽한 거동 분석이 힘들어 해석

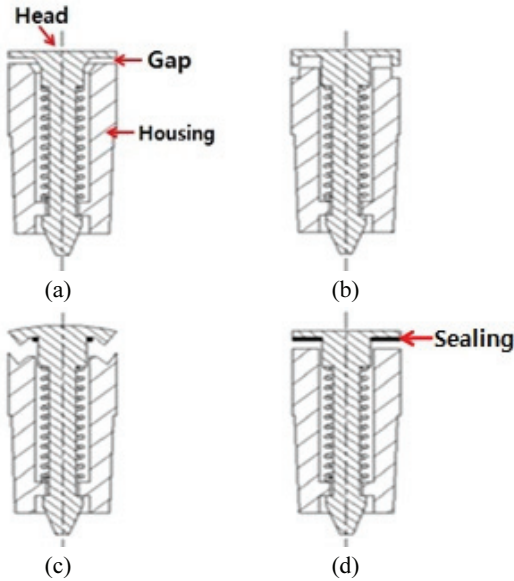


Fig. 8 Proposed design of spring vent

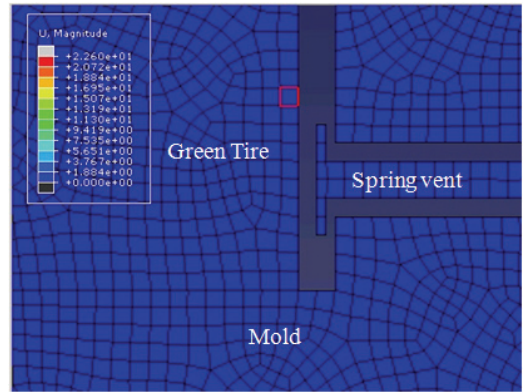
결과를 통해 경향을 보고자 하였다. Fig. 6은 해석 조건의 대략적인 개략도를 나타낸 그림이다. 기존 스프링 벤트 적용 시 Fig. 7과 같은 거동을 확인할 수 있었으며 고무의 유동 방향과 틈새 방향이 동일하여 고무가 유입 될 것으로 판단되었다.

3. 산업용 타이어 스프링 벤트 개발

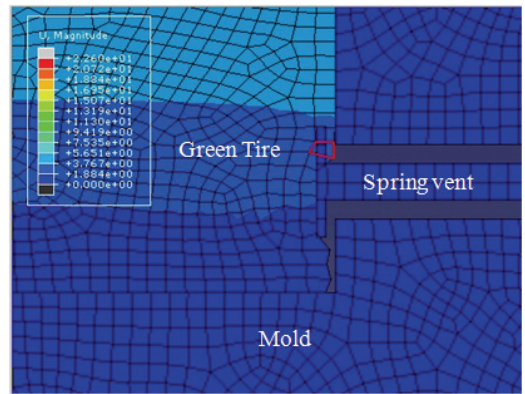
일반 타이어 스프링 벤트를 적용한 실험에서 고무 유동을 예측해 본 결과 스템의 형상 변경 및 스템과 하우스의 유격 최소화가 필요 하였다. Fig. 8(a)~(b)와 같이 밸브 스템의 헤드부 형상을 변경 하여 고무의 흐름 방향과 스템과 하우스의 간극 방향이 달라지게 하였고 외경을 확대하여 밀폐성을 증대시켰다. 그리고 밸브 스템과 밸브 하우스 간의 유격이 일반 타이어의 경우 0.5 mm 인데 비해 개발된 스프링 벤트의 경우 0.3 mm로 유격을 줄여 고무 유입을 방지할 수 있게 하였다. Fig. 8(c)와 (d)에서는 밀폐성을 증가 시키기 위해 스템 헤드부에 실링을 추가 설치하였다.

스프링 벤트를 제작 하기 전 해석을 통해 고무의 유동을 확인 하였다. Fig. 9와 같이 고무의 흐름 방향과 스프링 벤트의 틈새 방향과 다르므로 고무의 유입이 없을 것으로 판단하였다.

스프링 벤트의 작동 원리는 기존과 동일하며 밸브 스템과 밸브 하우스의 형상을 Fig. 8(d)의 형



(a) Initial step



(b) After pressing

Fig. 9 Analysis result of green tire with Industrial tire spring vent



Fig. 10 Industrial tire spring vent system

태로 변경하여 제작하였다. Fig. 10은 산업용 타이어 제조를 위해 새로 개발된 스프링 벤트 구조를 보여 주고 있다.

Fig. 8(d)와 같은 형상으로 개발된 스프링 벤트를 적용하여 Table 1과 같은 선행 실험과 동일한 조건으로 미산업용 타이어 제조 실험을 수행하였다.

실험 결과 3회 이상 실시 이후에도 고무 유입이 없음을 확인하여 지속적으로 스프링 벤트를 사



(a) Without spring vent (b) With spring vent

Fig. 11 Result of experiment with industrial tire spring vent

용할 수 있음을 확인하였다. Fig. 11에는 본 연구에서 개발된 스프링 벤트를 적용하여 실제 제작된 산업용 타이어를 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 일반 타이어 스프링 벤트를 산업용 타이어 금형에 적용할 때 발생하는 문제점을 해결하기 위해 새로운 스프링 벤트를 설계 및 제작 하였다.

고온 고압에서 스프링 벤트 내부로 고무의 유입을 방지하기 위한 새로운 구조를 제안하였으며 새롭게 설계된 스프링 벤트를 제작하여 가황공정에 적용한 결과 스프링 벤트 내부로 고무 유입이 감소함을 확인하였다. 이때 스프링 벤트의 스템과 하우징이 닿는 면적을 증가시키고, 유격을 최소화하여 밀폐성을 증가시키는 것이 중요하다는 사실을 알 수 있었다.

본 연구의 결과를 바탕으로 실제 산업용 타이어 제조 공정에 새로운 구조의 스프링 벤트 시스템을 적용할 계획이며 이를 통해 생산성 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2012-2013년도 창원대학교 연구비에 의하여 연구되었음

REFERENCES

1. Cho, J. U. and Han, M. S., "Stress Analysis of Automotive Tire at Contact on Road Surface," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 2, pp. 40-45, 2009.
2. Chang, Y. and El-Gindy, M., "Virtual Prediction of a Radial-Ply Tire's in-Plane Free Vibration Modes Transmissibility," International Journal of Automotive Technology, Vol. 6, No. 2, pp. 149-159, 2005.
3. Kim, K. W., "Finite Element Analysis of a Steady-State Rolling Tire Taking the Effect of Tread Pattern into Account," International Journal of Automotive Technology, Vol. 7, No. 1, pp. 101-108, 2006.
4. Kim, B. S., "A Study on the Pattern Noise Prediction of Automobile Tire," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 68-73, 2005.
5. Kim, Y. H., Lee, H. Y., and Lyu, M. Y., "FE Analysis for Tread Forming of Tire by using an Adaptive Mesh Refinement," Proc. of KAMES Spring Conference, pp. 733-736, 2007.
6. Lee, D. H., Kim, I. K., and Huh, K. S., "Tire Lateral Force Estimation System using Nonlinear Kalman Filter," Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol. 20, No. 6, pp. 126-131, 2012.